



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 36 059 A 1**

⑦① Aktenzeichen: 199 36 059.6  
⑦② Anmeldetag: 30. 7. 1999  
④③ Offenlegungstag: 1. 2. 2001

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**C 08 K 3/00**  
C 08 L 75/04  
C 08 K 3/20  
B 29 D 23/00  
A 61 M 25/00

**DE 199 36 059 A 1**

⑦① Anmelder:  
Guggenbichler, J. Peter, 90491 Nürnberg, DE;  
Hirsch, Andreas, Prof. Dr., 91054 Erlangen, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Vossius & Partner, 81675 München

⑦② Erfinder:  
gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Verfahren zur Herstellung von antimikrobiellen Kunststoffkörpern

**DE 199 36 059 A 1**

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung von antimikrobiellen metallhaltigen Kunststoffkörpern, insbesondere Gegenstände für den medizinischen Bedarf. Diese Gegenstände werden insbesondere in Form von Kathetern verwendet.

5 Ein erheblicher Nachteil von Kunststoffgegenständen für den medizinischen Bedarf, insbesondere von Kurz- und Langzeitkathetern besteht in der leichten Besiedelbarkeit der verwendeten Kunststoffe mit oft multi-resistenten Keimen, die auf der Oberfläche des Kunststoffkörpers, bzw. auf der Katheteraußen- und -innenseite, einen Biofilm bilden. Eine prophylaktische Imprägnierung der Oberflächen mit Antibiotika scheidet wegen der damit verbundenen hohen Selektion von resistenten Mikroorganismen aus.

10 In den letzten Jahren wurden daher zahlreiche Versuche unternommen, die Kunststoffoberflächen mit Silberionen, die z. B. aus Silbernitrat, -acetat, -chlorid stammen, zu imprägnieren. Silberionen besitzen von allen Schwermetallionen ein sehr breites antimikrobielles Spektrum und eine hohe Toxizität gegenüber Mikroorganismen durch z. B. die Bindung an die Zellwand über SH-Gruppen, Blockierung der Atmungskette, Unterbinden der Zellproliferation durch DNA-Bindung, aber eine geringe Toxizität gegenüber animalischen Zellen. Hierbei konnte jedoch in verschiedenen klinischen Studien  
15 keine ausreichende mikrobielle Wirksamkeit beobachtet werden. Zusätzlich führt die ätzende Wirkung bzw. die schlechte Wasserlöslichkeit von Silbersalzen zu weiteren Problemen in der Anwendung.

Bei Kontakt von Metalloberflächen wie z. B. Silber mit physiologischer NaCl-Lösung werden in Abhängigkeit von der Größe der Metalloberfläche Metallionen (Silberionen) in Freiheit gesetzt. Die Beimischung von Metallpulver, z. B. von Silberpulver, zu einem Polymer, z. B. Polyurethan, führt jedoch nicht zum Erfolg, da auf Grund der geringen Oberfläche relativ hohe Konzentrationen an Metallpulver erforderlich sind, was mechanische Probleme im Kunststoffmaterial verursacht. Die für eine antimikrobielle Wirksamkeit erforderliche kritische Oberfläche ist daher durch Zumischen von Metallpulver nicht erreichbar.

EP-A-0 711 113 offenbart eine neue Technologie, bei der metallisches Silber auf Polyurethanfolien aufgedampft und diese in zerkleinerter Form compoundiert werden. Dadurch konnte eine gleichmäßige Verteilung von Silberpartikeln im  
25 Polymermaterial erreicht und somit eine für eine bakteriestatischen Wirksamkeit ausreichend große Oberfläche erzielt werden. Die antimikrobielle Wirksamkeit dieser Kunststoffkörper ist sowohl hinsichtlich Reduktion und Verhinderung von Adhärenz, Biofilmbildung und Langzeitverhalten als auch Toxizität und Verträglichkeit sehr gut belegt. Die Anwendbarkeit vorstehender Kunststoffkörper wird jedoch durch einen zeitaufwendigen und kostenintensiven Herstellungsprozess, vor allem verursacht durch das Bedampfen mit Silber, limitiert.

30 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist somit die Bereitstellung eines Verfahrens zur Herstellung von antimikrobiell wirksamen Kunststoffkörpern, welche die vorstehenden Nachteile nicht aufweisen, d. h. einfach herstellbar sind und eine ausreichende Silberionenkonzentration an der Oberfläche liefern.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, daß vor dem Formen des Kunststoffkörpers mindestens ein Bestandteil des Vorprodukts des Formkörpers mit einem Silberkolloid behandelt wird.

35 Als Ausgangsmaterial für den Kunststoffkörper kommen viele polymere Verbindungen in Betracht, die im medizinischen Bereich üblicherweise verwendet werden. Diese sind insbesondere Polyethylen, Polypropylen, vernetzte Polysiloxane, Polyurethane, Polymere auf (Meth)acrylat-Basis, Cellulose und Cellulosederivate, Polycarbonate, ABS, Tetrafluorethylenpolymere und Polyethylenterephthalate, sowie die entsprechenden Copolymeren. Besonders bevorzugt sind Polyurethan, Polyethylen und Polypropylen sowie Polyethylen-Polypropylen-Copolymeren. Das eingesetzte Metall ist vorzugsweise Silber, Kupfer, Gold, Zink oder Cer. Von diesen Metallen ist Silber besonders bevorzugt.  
40

Neben dem kolloidalen Metall wird bei der Herstellung der erfindungsgemäßen Kunststoffkörper ein oder mehrere Polymerwerkstoffe eingesetzt. Dem Gemisch aus kolloidalem Metall und Kunststoff(en) können auch weitere Additive zugesetzt werden. Dies sind insbesondere anorganische Teilchen wie Bariumsulfat, Calciumsulfat, Strontiumsulfat, Titanoxid, Aluminiumoxid, Siliziumoxid, Zeolithe, Glimmer, Talk, Kaolin usw. Besonders bevorzugt ist dabei Bariumsulfat,  
45 das gleichzeitig als Röntgenkontrastmittel für besondere Anwendungsformen dienen kann.

Vor dem Formen wird ein oder mehrere Polymerbestandteile mit der kolloidalen Metalllösung behandelt und/oder ein oder mehrere der anorganischen Additive.

Nach dem Mischen der (teilweise) mit einem kolloidalen Metall behandelten Ausgangsstoffe wird das erhaltene Gemisch weiterverarbeitet, um einen Kunststoffformling zu erhalten. Dies kann in Mischern, Knetern, Extrudern, Spritzgießmaschinen oder (Heiß)pressen geschehen.  
50

Die Metallkolloide mit denen die Kunststoffe oder anorganischen Teilchen behandelt werden, stellt man geeigneterweise durch Reduktion von Metallsalzlösungen her. Zur Stabilisierung des entstehenden Kolloids können Schutzstoffe wie Gelatine, Kieselsäure oder Stärke eingesetzt werden.

Im Falle des bevorzugten Metalls Silber wird z. B. ammoniakalische Silbernitratlösung in der Gelatine langsam mit einem geeignetem Reduktionsmittel versetzt. Als Reduktionsmittel können neben Aldehyden (z. B. Acetaldehyd) auch Al-dosen (z. B. Glucose), Chinone (z. B. Hydrochinon), anorganische komplexe Hydride (Natrium- oder Calciumboranat), reduzierende Stickstoffverbindungen (Hydrazin, Polyethylenimin) sowie Ascorbinsäure verwendet werden. Kunststoffvorprodukte, wie z. B. Pellets, und/oder die anorganischen Teilchen, wie z. B. Bariumsulfat, werden dann mit dieser kolloidalen Silberlösung behandelt, getrocknet und in die entsprechende Form gebracht. Das Aufbringen des Silberkolloids auf die Ausgangsstoffe und das anschließende Trocknen kann mehrmals wiederholt werden, so daß auf diesem Wege  
60 sehr hohe Silberkonzentrationen in das Kunststoffmaterial eingebracht werden können. Dies ist insbesondere bei der Silberbeschichtung von Bariumsulfat vorteilhaft, da so eine vorherige Beschichtung der Kunststoff-Pellets nicht zwingend erforderlich ist.

Die Verwendung von z. B. Gelatine oder Stärke als Kolloidstabilisator kann bei der Adsorption von Silber die anorganischen Teilchen unterbleiben, da die bei der Reduktion entstehenden mikrokristallinen Silberpartikel adsorptiv an die Oberfläche der anorganischen Teilchen gebunden werden und somit die Ausbildung einer geschlossenen Silberschicht auf dem Feststoff verhindert wird.

Durch Variation oder Weglassen der Kolloidstabilisatoren sowie der Reduktionsmittel kann die Partikelgröße des Sil-

bers und damit die Mobilität der entstehenden Silberionen in einem weiten Bereich gesteuert und darüber hinaus durch die Verwendung von niedermolekularen Aldehyden als Reduktionsmittel, welche die Gelatine teilweise vernetzen, eine sehr gute Haftung auf dem Polymer erreicht werden.

Im folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren durch Beispiele veranschaulicht.

#### Beispiel 1

##### Herstellung des Silberkolloids

1,0 g Gelatine (DAB) werden bei 40°C in 100 ml aqua dest. unter Rühren gelöst. Hierzu gibt man anschließend 1,0 g (5,88 mmol)  $\text{AgNO}_3$  p. a. und versetzt die entstandene Lösung mit 1,0 ml (14,71 mmol) 25%-igen  $\text{NH}_3$ -Wasser.

Zur Darstellung des Silberkolloids werden zu vorstehender Lösung bei 40°C langsam über einen Zeitraum von 30 min 258,7 mg (5,88 mmol, 330  $\mu\text{l}$ ) Acetaldehyd gelöst in 50 ml aqua dest. getropft.

#### Beispiel 2

##### Beschichtung von Polyurethan-Pellets

10 min nach beendetem Zutropfen gemäß Beispiel 1 werden ca. 50 g Polyurethan-Pellets aus Tecothane TT-1085A zugesetzt und zur Beschichtung mit kolloidalem Silber zunächst 2 h bei 40°C und anschließend 3 h bei RT kräftig gerührt.

Man trennt das Silberkolloid durch rasche Filtration über einen Faltenfilter geeigneter Porengröße ab, wäscht die Pellets noch einmal mit dem Filtrat nach und überführt die noch feuchten Pellets in eine Abdampfschale. Nach dem Entfernen überschüssiger nicht am Polymer anhaftender Silberkolloidlösung wird 10 h bei 70°C getrocknet.

#### Beispiel 3

##### Adsorption von kolloidalem Silber an Bariumsulfat

Man setzt der im Beispiel beschriebenen wäßrigen ammoniakalischen Lösung aus Silbernitrat und Gelatine 50 g  $\text{BaSO}_4$  zu, und versetzt diese Suspension analog Beispiel 1 langsam mit einer wäßrigen Lösung des Reduktionsmittels bei 40°C. Somit wird das sich bildende Silberkolloid direkt an das als Röntgenkontrastmittel wirkende  $\text{BaSO}_4$  adsorbiert. Die Suspension wird anschließend durch Eindampfen bei 75°C vom Wasser befreit und kann als wasserfreier Feststoff in homogener und gut compoundierbarer Form erhalten werden.

#### Beispiel 4

##### Alternative Adsorption von kolloidalem Silber an Bariumsulfat

Die gemäß Beispiel 3 erhaltene Suspension aus Silbernitrat, Gelatine und Bariumsulfat wird durch Filtration vom Lösungsmittel und anschließend durch Nachwaschen zunächst mit ca. 5%-iger Ammoniaklösung und dann mehrmals mit aqua dest. von allen niedermolekularen organischen Verbindungen befreit. Der Filtrückstand liefert nach Lufttrocknung bei 75°C analog Beispiel 3 ein homogenes Material. Auch dieser Prozess kann mehrmals wiederholt werden.

#### Beispiel 5

##### Bestimmung der antibakteriellen Wirksamkeit

Zur Bestimmung der Besiedelbarkeit der erfindungsgemäßen Kunststoffkörper mit Keimen wurden jeweils fünf zylinderförmige Proben des entsprechenden Kunststoffs (Durchmesser 3 mm, Länge 13 mm) mit einer Zusammensetzung enthaltend *Staphylococcus epidermis* in einer Trypcase-Soy-Broth-Nährlösung bei 175°C inkubiert. Folgende Kunststoffkörper wurden untersucht (Nummer 1 ist handelsüblich und unbehandelt, Nummer 2 und 3 sind erfindungsgemäß):  
 Prüfkörper 1: Stück aus einem PU-Katheter der Firma Arrow (Es 04701)  
 Prüfkörper 2: gemäß Beispiel 2 der vorliegenden Erfindung  
 Prüfkörper 3: gemäß Beispiel 3 der vorliegenden Erfindung.

Die jeweils 5 Prüfkörper wurden vier Testreihen unter folgenden Bedingungen unterzogen:  
 Testreihe 1: anfängliche Konzentration von *Staphylococcus epidermis*  $5 \times 10^7$  CFU/ml  
 Testreihe 2: anfängliche Konzentration von *Staphylococcus epidermis*  $10^8$  CFU/ml  
 Testreihe 3: wie Testreihe 1, jedoch noch einer 5-stündigen Vorinkubation in physiologischer Pufferlösung bei 37°C gemessen  
 Testreihe 4: wie Testreihe 1, wobei die Kunststoffkörper mit steril filtriertem natürlichen Harn bei 37°C 4 Stunden lang vorbehandelt wurden.

Tabelle 1 zeigt die Anzahl der besiedelten Kunststoffkörper. Bestimmt wurde dies durch visuelle Kontrolle.

Tabelle 1

	Prüfkörper- Typ	Zahl der besiedelten Prüfkörper			
		Testreihe 1	Testreihe 2	Testreihe 3	Testreihe 4
Vergleich	1	3	5	4	5
Erfindung	2	0	0	0	0
	3	0	3	0	0

- Die Kathettermaterialien zeigen nach dem Compoundieren keine Beeinträchtigung der für therapeutische Zwecke nötigen mechanischen Eigenschaften (Rauhigkeit, Homogenität und Elastizität). Hierbei kann das Verfahren gut an wechselnde Anforderungen im Produktionsprozess angepaßt werden, da die antimikrobielle Wirksamkeit unabhängig davon erhalten bleibt ob das Silber über eine Beschichtung der Polyurethan-Pellets (Beispiel 2) oder über das Röntgenkontrastmittel (Beispiel 3 und 4) in das Polymermaterial eingebracht wird.
- Die erfindungsgemäßen Kunststoffgegenstände zeigen bei vergleichbar geringer Toxizität eine signifikant höhere antimikrobielle Wirksamkeit hinsichtlich Adhärenz und Biofilmbildung sowie ein deutlich verbessertes Langzeitverhalten als bisherige Werkstoffe.
- Die erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren sind gut kontrollierbar, kostengünstig und für eine Produktion im größeren Maßstab geeignet. Zusätzlich wurde mit Beispiel 4 ein Verfahren ausgearbeitet alle "Hilfschemikalien" aus dem anorganischen Kontrastmittel zu entfernen, so daß eine Zertifizierung des Verfahrens keine Probleme bereiten sollte.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines antimikrobiellen Kunststoffkörpers, umfassend das Formen eines Vorprodukts, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor dem Formen mindestens ein Bestandteil des Vorprodukts mit einem Metallkolloid behandelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Vorprodukt aus einem oder mehreren polymeren Materialien besteht.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Vorprodukt aus Polyurethan besteht.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei den Kunststoffvorprodukt neben den polymeren Werkstoffen weitere Additive zugegeben werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Additive aus anorganischen Teilchen bestehen.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die anorganischen Teilchen Bariumsulfat, Calciumsulfat, Strontiumsulfat, Titanoxid, Aluminiumoxid, Siliziumoxid, Zeolithe, Glimmer, Talk oder Kaolin umfassen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die anorganischen Teilchen Bariumsulfat umfassen.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei eines oder mehrere der Vorproduktbestandteile mit dem kolloiden Metall behandelt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, wobei sowohl der Kunststoff als auch die anorganischen Teilchen mit dem kolloiden Metall behandelt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, wobei die anorganischen Teilchen mit dem Metallkolloid behandelt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Metallkolloid kolloidales Silber ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das behandelte Vorprodukt durch Mischen, Kneten, Extrudieren, Spritzgießen oder (Heiß)pressen in die endgültige Form gebracht wird.
13. Kunststoffkörper erhältlich nach einem der Ansprüche 1 bis 12.
14. Kunststoffkörper nach Anspruch 13 in Form eines Katheters.